Ueber den

negativen Druck der Gefässluft.

Inaugural-Dissertation

von

Franz von Höhnel,

zur Erlangung der Doctorwürde an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Facultät der Universität zu Strassburg.

Wien.
Buchdruckerei von Carl Gerold's Sohn.
1876.

77 8

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552708_0122

Ueber den

negativen Druck der Gefässluft.

Inaugural-Dissertation

von

Franz von Höhnel,

zur Erlangung der Doctorwürde an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Facultät der Universität zu Strassburg.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Wien.
Buchdruckerei von Carl Gerold's Sohn.
1876.

Selbstverlag des Verfassers.

Eine der frühesten Errungenschaften der Pflanzenphysiologie ist die Erkenntniss der Thatsache, dass die Pflanzensäfte und daher auch nothwendigerweise die Luft im Innern der Pflanze unter einem sehr variablen Drucke stehen, der selbst in's Negative übergehen, d. h. geringer als der atmosphärische werden kann. Namentlich der positive Saftdruck erregte seit Hales die Aufmerksamkeit vieler Forscher, welche zahlreiche Angaben über die Grösse und Periodicität desselben lieferten, so dass die Literatur über denselben ziemlich erschöpfend ist.

Obwohl nun schon Hales die Thatsache bekannt war, dass Stammstumpfe vor dem Bluten häufig Wasser begierig aufsaugen, welche Thatsache auf einen im unverletzten Stamme befindlichen negativen Druck hinweist, blieb dieselbe lange Zeit unbeachtet und erst nach mehr als 100 Jahren scheint Meyen es wieder zuerst gewesen zu sein, der dieselbe selbstständig wiederholt beobachtete und daraus in der That auf einen negativen Druck in der Pflanze schloss. Nach Du Hamel du Monceau[1]) fand Hales, dass ein $^3/_4$'' dicker Stumpf eines Rebstockes während der Nacht beinahe 2 Fuss Wasser einer $^1/_4$'' dicken Röhre einsog.

Meyen[2]) setzte auf die Schnittfläche eines beschnittenen Astes von *Vitis* den mit Luft gefüllten Schenkel eines doppelt gebogenen Manometerrohres, dessen beide andere Schenkel gleich

---

[1]) Nach Schöllenbach's deutscher Uebersetzung (Nürnberg 1765): „Die Naturgeschichte der Bäume", p. 189.

[2]) Neues System der Pflanzenphysiologie, 1838, II. Bd., p. 66 f.

hoch mit Wasser gefüllt waren. Schon nach 15 Minuten begann das Wasser im inneren Schenkel zu steigen, bis es hier die Höhe von 2″ erreicht hatte; nachdem dasselbe auf dieser Höhe durch mehrere Tage verblieben war, trat wieder das Gleichgewicht ein. Bei einem zweiten Versuche[1]), bei welchem das Manometerrohr jedoch ganz mit Wasser erfüllt war, wurde der ausgetretene Saft mit einer Kraft von 14 Zoll Quecksilberdruck eingesogen.

Hales[2]) wies den negativen Luftdruck in der Pflanze auf eine andere Weise nach; er befestigte einen abgeschnittenen belaubten Zweig luftdicht auf die obere Oeffnung einer aufrecht stehenden, mit dem unteren Ende in Wasser tauchenden Glasröhre und fand, dass die Sperrflüssigkeit, z. B. bei einem Apfelaste, binnen 3 Stunden um einen Zoll stieg.

Dieser Hales'sche Versuch wurde von zahlreichen Autoren wiederholt, so von Meyen, Unger, Sachs, Barthelemy etc.

Meyen[3]) setzte einen abgeschnittenen blühenden Stengel von *Vicia faba* luftdicht auf das obere Ende einer mit Wasser erfüllten aufrechtstehenden Glasröhre, die in Quecksilber stand, und sah letzteres in 4 Stunden bis zu 7 Zoll Höhe aufsteigen, was einem negativen Drucke von einer Viertel-Atmosphäre entspricht; bei einem zweiten Versuch stieg das Quecksilber nur 4·5 Zoll hoch.

Sachs[4]) machte den Hales'schen Versuch mit lufterfüllten Glasröhren und sah das Quecksilber bei einem kleinen Zweige von *Aesculus Hippocastanum* in 9 Stunden 2 Cent., bei einem welkenden Kohlblatte in 24 Stunden 3 Cent. hoch steigen.

Barthelemy[5]), der denselben Versuch mit Oleanderzweigen machte, fand das Quecksilber nach mehreren Stunden auf 4 bis 5 Cent. Höhe gestiegen, auf welcher Höhe dasselbe durch 30 Stunden verblieb.

[1]) l. c. p. 64 f.
[2]) s Sachs, Experimental-Physiologie, p. 260 f.
[3]) l. c. II., p. 70.
[4]) l. c., p. 261.
[5]) „De la circulation des gaz dans les vegetaux.“ Annales des scienc. nat. V. ser.; tome XIX., p. 150 f.

Unger[1]) stellte zahlreiche Versuche über die Quantität des von Stammstumpfen aufgesogenen Wassers und den Druck, unter welchem diese Aufsaugung geschieht, an; im höchsten Falle betrug dieser 10 Cent. Quecksilber. Abgeschnittene krautige Pflanzen, welche forttransspirirten, nahmen das Wasser mit einem Maximalzuge (bei *Eupatorium cannabinum*) von 11 Cent. Quecksilber auf.

Aehnliche Versuche wurden auch von zahlreichen anderen Forschern unternommen, so von Böhm[1]), J. N. C. Müller etc.

Bei Versuchen, die ich mit *Syringa vulgaris* gemacht habe, wurde das Quecksilber durch den transspirirenden Zweig in einem Falle bis 30 Cent. Höhe gehoben, erst dann trat durch die verletzten Gefässe der Schnittfläche so viel Luft aus, als Wasser verdunstete, es konnte daher keine weitere Zugvergrösserung stattfinden.

Alle diese Thatsachen zeigen zwar, dass die Transspiration einen bedeutenden Zug zu erzeugen und überwinden vermag, geben aber keine Auskunft darüber, ob dieser Zug auch in der unverletzten lebenden Pflanze unter normalen Verhältnissen wirklich zu Stande kommen, und welche Grösse derselbe zu erreichen vermag. Die genannten Versuche machen die Entstehung eines solchen Zuges uns wahrscheinlich, nicht aber gewiss. Die Thatsache, dass Stammstumpfe Wasser mit Ueberwindung eines gewissen Druckes einsaugen, ist ebenfalls kein Beweis für die Existenz eines negativen Luftdruckes, nachdem sich dieser, wenn derselbe überhaupt vorhanden war, bei Durchschneidung des Stammes an der Schnittfläche jedenfalls allsogleich ausgleichen muss, sondern zeigt nur, dass Holz als hygroskopischer, poröser Körper Wasser mit einer gewissen Kraft aufzusaugen im Stande ist.

Damit stimmt die auffällige Thatsache überein, dass sobald die Schnittfläche des Stammstumpfes oder des abgeschnittenen Zweiges bei obgenannten Versuchen in Folge Luftaustrittes durch dieselbe ausser Berührung mit Wasser kommt, der Quecksilberzug rasch auf 2—3 Cent. fällt und sich endlich ganz ausgleicht.

---

[1]) Sitzungsberichte der k. Akad. der Wissenschaften, 1864, 50. Bd., I. Abth., p. 106 f.

Ebenso beweist dies die Thatsache, dass man beim Hales'schen Experimente (bei Anwendung von lufterfüllten Glasröhren) im Maximum nur 4—5 Cent. Zughöhe erhält.

Th. Hartig[1]) war, wie es scheint, der Erste, der den negativen Luftdruck in der fortlebenden, wenig verletzten Pflanze nachwies. Dieser Nachweis gelang ihm zuerst 1861 an der Hainbuche. Er bemerkte bei diesem Baum, dass das Bluten (im April) um 9 Uhr Abends beginne, sein Maximum um 3 und 4 Uhr Morgens erreiche, dann noch bis Mittag dauere und Nachmittags gänzlich aufhöre, um um 9 Uhr wieder zu beginnen; zugleich zeigte sich Nachmittags ein Aufsaugen des ausgeschiedenen Saftes. Um nun die Kraft dieser Aufsaugung zu messen, wendete er ein durch Verbindung einer tubulirten Retorte mit einer nach abwärts gekehrten Glasröhre hergestelltes Manometer, das in ein Bohrloch eingesetzt wurde, an. Mit diesem Apparate erhielt Hartig im Maximum 17·5 Zoll Quecksilbererhebung, also etwa zwei Drittel Atmosphären negativen Druckes. Es schwankte der Zug von 8—17 Zoll. Dies war jedoch nur dann der Fall, wenn das Bohrloch Wasser enthielt; ging das Wasser daselbst und im Retortenraume aus, so sank das Quecksilber rasch auf Null oder eine sehr geringe Höhe herab. Während des Vorganges des Aufsaugens traten zahlreiche bis haselnussgrosse Luftblasen aus dem Stamm aus, ohne den Quecksilberstand zu deprimiren, woraus Hartig den Schluss zog, dass die Luft im Innern des Baumes dieselbe Dichte habe, wie die des Retortenraumes, also unter dem negativen Drucke von 17·5 Zoll stehe. Wie reimt sich aber damit die erwähnte Thatsache, dass sich dieser negative Druck nur bei gefülltem Manometer kund gibt? Offenbar ist Hartig's Schluss unrichtig und gibt die erhaltene Quecksilbererhebung den Druck der Baumluft nicht an. Man hat sich die Sache so vorzustellen. So lange die durch die Wurzeln emporgeschaffte Saftquantität grösser als die durch die Transspiration verbrauchte, also von 9 Uhr Abends bis Mittag, steht die Gefässluft offenbar unter einem positiven Drucke, der sein Maximum in der Zeit des stärksten Blutens, Nachts von 3 bis

[1]) Bot. Zeitung, 1861, p. 17.

4 Uhr erreichen wird. So lange die transspirirte Wassermenge ebenso gross ist als die emporgeschaffte, bleibt dieser positive Druck constant. Wird erstere grösser, so wird letzterer allmälig abnehmen und zwar immer rascher, bis derselbe auf Null reducirt ist. Macht man nun in diesem Zustande ein Bohrloch, so kann offenbar kein Wasser austreten, weil ja jeder Druck fehlt, hingegen wird das Holz der Wasseraufnahme immerhin fähig sein, da es nicht so viel Wasser enthält als es enthalten könnte. Ist nun das Manometer gefüllt, so kann das Holz Wasser aufnehmen, was wie bei jedem porösen Körper mit einer gewissen Kraft geschehen wird, deren Grösse jenes angeben wird. Bis zu einer gewissen Grenze muss, so lange kein Luftaustritt stattfindet, dem Lumen nach ebensoviel Quecksilber aufsteigen als Wasser eingesogen wird. Da der Luftaustritt in das Rohr nur in Folge der Wasseraufnahme geschieht, so kann durch denselben der Quecksilberstand nicht deprimirt werden, indem mehr Wasser vom Holze aufgenommen werden muss als Luft ausgeschieden wird. Wird nun in Folge des fortgesetzten Luftaustrittes die Continuität der Flüssigkeit im Manometer unterbrochen, der Rest des aufsaugbaren Wassers vom Bohrloche aufgenommen, so tritt die Manometerluft in directe Communication mit der Baumluft, deren Druck, wie angenommen wurde, kaum von Null abweicht. Es muss dann das Quecksilber rasch auf einen sehr niedrigen Stand sinken.

Daraus folgt, dass mit gefüllten Manometern der negative Druck nicht gemessen werden kann. Es ist schon von vorneherein unwahrscheinlich, dass es im April, zu einer Zeit wo die Transspiration noch gering ist, und die Pflanze über so bedeutende Saftquantitäten verfügt, zu so grosser Luftverdünnung im Holze, wie sie Hartig fand, kommen könne.

Hartig liess nun ähnliche aber mit Luft erfüllte Apparate an Buchen den Sommer über stehen, mit Wasser in der Vorlage, und es zeigte sich eine fortdauernde Wassererhebung von 3—6 Zoll bei der Hainbuche und von 1·5—3·5 Fuss bei der Rothbuche; bei letzterer war die Steigung des Wassers eine sehr langsame und gehörten mehrere Tage dazu, ehe der Wasserstand seine grösste Wasserhöhe von $3^1/_2$ Fuss erreichte, wenn das

Experiment unterbrochen und erneuert wurde. Bei diesen Experimenten hat man es selbstverständlich mit dem wirklichen Drucke der Gefässluft zu thun, doch ist es auffällig, dass derselbe einen so geringen Unterschied vom atmosphärischen zeigt.

Die Resultate einer grösseren Reihe von hieher gehörigen Versuchen hat Th. Hartig im Jahre 1863 [1]) veröffentlicht. Er stellte dieselben an *Carpinus*, *Acer*, *Betula*, *Fagus* und *Juglans* an. Zur Messung des Saftdruckes verwendete er nach seiner eigenen Beschreibung geschlossene Manometer, deren Scala auf dem Mariotte'schen Gesetze beruht. Es wurde der offene, um vier Zoll längere Schenkel der U-förmig gebogenen Röhre am Orte des Beginnes seiner überschüssigen Länge rechtwinkelig gebogen, zum Versenken in das horizontale Bohrloch eines die Baumwunde verschliessenden gusseisernen Pfropfes, welcher fest in das cylindrische Bohrloch des Baumes eingetrieben war. Weiter sagt Hartig: „Die Scala des geschlossenen Schenkels dieses Manometers umfasste die halbe Länge der eingeschlossenen Luftsäule von atmosphärischer Dichtigkeit, sowohl unter als über dem als Nullpunkt bezeichneten Niveau des Quecksilbers, entspricht daher vom Nullpunkte aufwärts einer Atmosphäre Ueberdruck, vom Nullpunkte abwärts einer Atmosphäre Minderdruck. Vom Nullpunkte nach oben wie nach unten in zehn gleiche Theile eingetheilt, entsprach jeder Grad dieser Scala ein Zehntel Atmosphäre Ueber- oder Minderdruck."

Wie man aus diesen Worten Hartig's ersieht, ist hier ein Irrthum bei Bestimmung der Grösse des Druckes unterlaufen. In Folge dieses Fehlers sind sämmtliche angegebene Werthe zu gross, zum Theile sogar unmöglich; so die Angabe [2]), dass bei *Acer* das Maximum der Saugkraft auf 1·2 Atmosphären steigen solle, während das absolute Maximum jeder Saugkraft eine Atmosphäre ist.

In der folgenden kleinen Tabelle gebe ich die richtig gestellten Werthe für die einzelnen Zehntel der Hartig'schen Angaben.

[1]) „Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen." Botan. Zeitung, 1863, p. 277.

[2]) l. c. p. 280.

Zehntel-Atmosphäre nach Hartig	Positiver Druck (Ueberdruck)		Negativer Druck (Saugkraft, Minderdruck)	
	Atmosph.	Millim.	Atmosph.	Millim.
12 =	$\frac{12}{8} = 1{\cdot}5$	1140	$\frac{12}{32} = \frac{3}{8}$	285
11 =	$\frac{11}{9} = 1\frac{2}{9}$	928 9	$\frac{11}{31}$	269 9
10 =	$\frac{10}{10} = 1$	760	$\frac{10}{30} = \frac{1}{3}$	253·3
9 =	$\frac{9}{11}$	621 9	$\frac{9}{29}$	235·8
8 =	$\frac{8}{12} = \frac{2}{3}$	506 7	$\frac{8}{28} = \frac{2}{7}$	217·1
7 =	$\frac{7}{13}$	403·2	$\frac{7}{27}$	197·1
6 =	$\frac{6}{14} = \frac{3}{7}$	325·7	$\frac{6}{26} = \frac{3}{13}$	175·4
5 =	$\frac{5}{15} = \frac{1}{3}$	253·3	$\frac{5}{25} = \frac{1}{5}$	152
4 =	$\frac{4}{16} = \frac{1}{4}$	190	$\frac{4}{24} = \frac{1}{6}$	126·7
3 =	$\frac{3}{17}$	134 1	$\frac{3}{23}$	99·1
2 =	$\frac{24}{18} = \frac{1}{9}$	84·4	$\frac{2}{22} = \frac{1}{11}$	69·1
1 =	$\frac{1}{19}$	40	$\frac{1}{21}$	36·2

Wie man aus dieser Tabelle ersieht, sind Hartig's Zahlen, sowohl was den negativen wie den positiven Druck betrifft, sämmtlich zu gross und zwar bis viermal. Man bemerkt auch, dass die zwölf Zehntel Atmosphäre Minderdruck nur drei Achtel Atmosphären entsprechen.

Hartig macht nun folgende Angaben über die Kraft, mit welcher das Wasser aus dem Manometerrohre eingesaugt wurde (die ich mit Berücksichtigung der eben angeführten Tabelle wiedergebe).

Vor Allem zeigte sich, dass das Saugen nicht blos auf die Hainbuche beschränkt ist (wie dies Hartig 1861 annahm), sondern sich auch bei der Rothbuche, Birke, Wallnuss und dem Ahorn (*sp.?*) findet, und daher wahrscheinlich bei allen blutenden Bäumen.

Bei der Hainbuche sind es bei Weitem vorwiegend die Stunden von 4—9 Uhr Nachmittag, oder wie bei einzelnen von 3—6 Uhr Früh. Bei den übrigen genannten Hölzern beginnt das Saugen Nachmittags von 4—6 Uhr und dauert die Nacht hindurch bis 5—7 Uhr Früh. Was die Grösse der Saugkraft betrifft, zeigen sich bei verschiedenen Individuen und Arten verschiedene Maxima. (Die Zahlen sind der grossen Tabelle Hartig's entnommen und berichtigt worden.)

Bei 9 verschiedenen Individuen von *Carpinus* zeigten sich

folgende Maxima der Saugkraft: 21·7, 6·9, 15·2, 15·2, 9·9, 3·6, 9·9, 3·6, 3·6 Cent. Bei 6 verschiedenen Individuen von *Acer (sp.?)*: 19·7, 6·9, 6·9, 3·6, 6·9, 28·5. Bei *Betula* zeigte ein Exemplar mit einem Bohrloche ein Maximum von 15·2 Cent.; ein anderes mit 2 Manometern, wovon einer in einem in Brusthöhe gemachten Bohrloche steckte, das andere 3 Fuss höher an einem quer abgeschnittenen Ast angebracht war, an beiden 12·7 Cent. Saugkraft. Hier zeigte sich, dass die ersten 7 Tage, so lange nämlich noch beide Manometer reagirten, beide fast beständig denselben Druck oder Zug aufwiesen. Nach 7 Tagen hörte das untere auf zu reagiren, während das obere noch 19 Tage lang thätig war. Zwei Individuen von *Fagus* zeigten ein Zugmaximum von 6·9 Cent. Bei einem Exemplare von *Juglans*, bei welchem das Manometer an einem querdurchschnittenen Aste befestigt war, zeigte sich im höchsten Falle ein negativer Druck von 15·2 Cent.

Alle diese Beobachtungen wurden im März und April angestellt. Nach dem Obigen kann ich auch auf diese Angaben nur einen geringen Werth legen, sie wurden nur der Vollständigkeit halber angeführt.

In ähnlicher Weise wie Hartig hat auch W. S. Clark[1]) Versuche über den positiven und negativen Druck an Bohrlöchern beim Zuckerahorn angestellt, welche durch ihre Resultate bemerkenswerth sind. Die Saugung beträgt Nachts bis 25 Fuss Wasserdruck, während der positive Druck auf 85 Fuss steigen kann.

Obwohl es nun gar keinem Zweifel unterworfen ist, dass in Folge der Transspiration, der Athmungs- und Assimilationsvorgänge, der Schwankungen des äusseren Luftdruckes und der Temperatur etc. bedeutende Luftdruckveränderungen im Innern der Pflanze stattfinden müssen und obwohl es ganz sicher ist, dass die angeführten Versuche genügen, die Existenz positiver und negativer Drucke zu beweisen, kann andererseits kein Zweifel darüber sein, dass sie durchaus nicht in Betreff der Frage über die Grösse des negativen Druckes genügende Auskunft geben. Dass negative Drucke im Innern der Pflanze vorkommen, ist all-

[1]) The circulation of sap in the plants, Boston 1874; siehe Bot. Jahresbericht 1874, p. 758.

gemein anerkannt. Hofmeister[1]) sagt z. B., „dass die inneren Hohlräume von Landpflanzen in der Regel in einem Zustande der negativen Spannung, des Saugens sich befinden und grossentheils mit Gas erfüllt sind, welches unter geringerem Drucke steht als dem einer Atmosphäre", ohne jedoch etwas über die Grösse dieses Druckes mitzutheilen.

Sachs spricht sich in seiner Experimental-Physiologie, p. 259—60, in ähnlicher Weise aus. Er hebt namentlich hervor, wie durch die Transspiration eine Verdünnung der inneren Luft bewirkt, umgekehrt durch den Wurzeldruck Wasser in den ausgesogenen Holzkörper mit grosser Kraft hineingetrieben und die vorhandene Luft comprimirt wird. Ueber die Grösse dieser Ueber- und Minderdrucke macht er aber keine Angaben. Offenbar stellt er sich jedoch bezüglich der Luftverdünnung vor, dass selbe nur schwach sei, d. h. kaum mehr wie einige Cent. Quecksilberdruck betrage, wie dies auch aus dem p. 260—61 angeführten Halesschen Versuche und allen mit luftgefüllten Manometern gemachten Experimenten hervorgeht.

Beobachtet man ferner die von Unger, Sachs und vielen Anderen gefundene Thatsache, dass man in das abgeschnittene Ende von verschiedenen Blättern oder Stämmen Luft unter dem geringen Drucke von 8—10 Cent. einblasend, diese an den Spaltöffnungen in starkem Strome austreten sieht und ebenso umgekehrt Luft durch die Lumina ein- und durch den Stiel herausblasen kann, wobei noch die capillare Verstopfung der untergetauchten Gefässenden oder Spaltöffnungen zu überwinden ist, so kommt man zum Schlusse, dass schon eine Luftverdünnung von 3—4 Cent. im Innern der Pflanze genügend ist, um einen hinreichend raschen, druckausgleichenden Luftstrom zu erzeugen und daher eine fortdauernde Luftverdünnung kaum mehr als 1—2 Cent. Quecksilberdruck betragen könne.

Das Gewicht dieser letzterwähnten Thatsachen scheint auch W. Detmer[2]) bestimmt zu haben, anzunehmen, dass in allen

---

[1]) Lehre von der Pflanzenzelle, p. 273.

[2]) „Mittheilungen aus dem Gebiete der Botanik", von Pr. Dr. A. Schenk und Dr. C. Lürssen, 1874, I. Bd. W. Detmer: „Die Theorie der Wurzelkraft", p. 453.

inneren Theilen der Pflanze, die mit der äusseren Luft direct communiciren, derselbe Druck herrscht, der sich im umgebenden Medium befindet"; hingegen nimmt er für in geschlossenen Zellen befindliche Luft Druckunterschiede gegenüber der Atmosphäre an. Es versteht sich von selbst, dass diese Anschauung unrichtig ist.

Wie man aus den angeführten Versuchsresultaten etc. ersieht, sind die Meinungen der Forscher über die Grösse des negativen Luftdruckes in der Pflanze sehr getheilt, was offenbar den Widersprüchen der verschiedenen Versuchsresultate zuzuschreiben ist. Während die einen, wie Hartig, Clark etc. offenbar meinen, derselbe könne bis zu einer Atmosphäre steigen, haben andere kaum eine bestimmte Vorstellung von seiner Grösse und leugnet ihn endlich Detmer gänzlich. Ich ging bei meinen Versuchen, die lediglich den Zweck hatten, mir Aufschluss über die Grösse dieses Druckes zu geben, von der Ueberzeugung aus, dass die bisher angewandten Methoden, dem Zwecke ihn zu messen, durchaus nicht genügen. Vor allem darum, weil die Pflanze immer mehr oder minder verletzt wird, dann weil gerade jene Theile, welche bezüglich des in ihnen herrschenden Luftdruckes untersucht werden sollen, eine kurze Zeit hindurch der Luft ausgesetzt werden. Wendet man lufterfüllte Manometer an, so erhält man selbst bei grossen Pflanzen nur geringe Druckanzeigen (bis zu 3 Zoll Quecksilber, die sich zum Theil vielleicht schon durch Temperaturdifferenzen erklären lassen), wendet man wassererfüllte an, so erhält man sehr widersprechende Resultate, welche zur Genüge die Unvollkommenheit der Methode beweisen.

Mir war es darum zu thun, die Grösse der negativen Spannung der Gefässluft in der normalen, unverletzten Pflanze zu messen. Diese scheinbar unlösbare Aufgabe wird leicht in der Weise erledigt, dass man die betreffenden Pflanzen an der Stelle, wo man den Druck messen will, unter einer Flüssigkeit, die sich in die Gefässe nicht capillar hinaufzieht, abschneidet. Nach Massgabe des Ueberschusses des äusseren Luftdruckes, der Weite der Gefässe, der capillaren Eigenschaften der Gefässwände etc.

wird die angewendete Flüssigkeit verschieden hoch hinaufgepresst; untersucht man nun für dieselbe Stelle, welcher Druck dazu gehört, um die angewendete Flüssigkeit überhaupt in die Gefässe hineinzupressen, so kann man einen sicheren Schluss auf die Grösse der negativen Spannung ziehen, welche nothwendig, um die benützte Flüssigkeit bis zur erhaltenen Höhe hinaufzuziehen. Ich wendete bei meinen Versuchen Quecksilber an. Ich will den Vorgang an einem Beispiele etwas genauer auseinandersetzen.

Quercus pedunculata.

Im Juni dieses Jahres wurde ein mehrjähriger Zweig herab- und in eine Porcellanschale, die einige Centimeter hoch mit Quecksilber gefüllt war, gebogen; eine Stelle die etwa 50 Cent. von der Zweigspitze entfernt war, wurde unter das Quecksilber getaucht, und der Zweig daselbst mit einer scharfen Rebscheere abgezwickt; nach einigen Secunden wurde das proximale [1]) Ende vom Baume abgetrennt, und beide Zweigstücke untersucht. Beim Entschälen derselben zeigte sich nun, dass das Quecksilber in zahlreiche Gefässe weit hinauf eingedrungen war. Namentlich waren im distalen Ende die Gefässe des jüngsten Jahresringes bis zu einer Höhe von 20 Cent. fast sämmtlich angefüllt, so dass der entschälte Zweig dicht mit parallelen, grauen Linien bedeckt war, die den einzelnen Gefässen entsprachen. Zahlreiche Gefässe — nämlich die weitesten — waren bis 30 Cent. voll, einzelne bis 38·5 Cent. hoch.

Nicht nur der Hauptast, sondern auch die Nebenäste waren zum Theil mit Quecksilber erfüllt. In einem, der 6·5 Cent. weit von der Schnittfläche entfernt war, 4·2 Cent., also in den betreffenden Gefässen 10·7 Cent. weit.

Im proximalen Ende stieg das Quecksilber 15·2 Cent. weit im Injectionszweige und noch 1 Cent. weit in den Mutterzweig dieses hinab; also im Ganzen 16·2 Cent. weit.

Bei einem zweiten Versuche, der, nachdem es einen Tag geregnet hatte, unternommen wurde, zeigte sich, dass das Queck-

[1]) Das proximale Ende des Zweiges nenne ich jenen Theil des letzteren, welches nach dem Abzwicken des distalen unter Quecksilber noch mit der Pflanze in Verbindung bleibt.

silber im distalen Ende in vier Abzweigungen eintrat, und zwar 22, 19·5, 31 und 37 Cent. weit, in zahlreichen Gefässen. Dabei musste dasselbe beim 1., 2. und 4. Nebenast durch je 2 und beim 3. Aestchen durch 3 Abzweigungsstellen hindurch. Im proximalen Ende drang dasselbe 23·5 Cent. weit.

Man sollte meinen, dass das Quecksilber in beiden Enden gleich weit steigen müsse; dies tritt jedoch nur selten ein, gewöhnlich findet sich ein mehr oder weniger bedeutender Unterschied. Die Ursache davon liegt darin, dass die Gefässe nicht gleich weit sind und selbst ein und dasselbe Gefäss auf längeren Strecken allmälig weiter und enger wird. Den Capillaritätsgesetzen zu Folge aber ist es sicher, dass schon geringe Differenzen im Durchmesser des Haarröhrchens bedeutende Unterschiede in der Steighöhe im Gefolge haben. Je weiter die Gefässe sind, desto höher wird das Mercur steigen, weil der capillare Widerstand und die Reibung, welche dasselbe erleidet, mit der Röhrchenweite abnehmen.

Um den capillaren Widerstand zu messen, wurden kurze Stücke eines gleich alten Zweiges mittelst einer kurzen Kautschukröhre an ein dünnes Glasrohr befestigt und dann in einer weiten mit Quecksilber gefüllten, aufrechtstehenden Glasröhre senkrecht untergetaucht und so verschiedenen Druckhöhen, die gemessen werden konnten, ausgesetzt. Ich fand, dass bei einem Drucke von 18 Cent. das Mercur 5·1 Cent. weit eindrang in den peripherischen Gefässen; bei einem Drucke von weniger als 12—13 Cent. drang überhaupt nichts ein; bei einem Druck von 14 Cent. im Maximum 1·4 Cent., bei 16 Cent. Druck 3·5 Cent., bei 18 Cent. Druck 5·2 Cent. weit; man bemerkt, dass die Differenzen 12·9 13·6, 12·5, 12·8 Cent. betragen; also im Durchschnitt fast 13 Cent., das heisst ein so grosser Druck ist nothwendig, um bei der Stieleiche überhaupt Quecksilber in die weitesten Gefässe einzupressen. Dieser capillare Widerstand von 13 Cent., den die Gefässe dem Eindringen von Quecksilber entgegensetzen, muss offenbar bei der Messung der Grösse der negativen Gefäss-Luftspannung in Rechnung gebracht werden; würde diese weniger als 13 Cent. betragen, so wäre sie nicht im Stande Quecksilber in die Gefässe hineinzupressen.

Man sieht aus dem Gesagten auch, dass negative Drucke, die geringer als der capillare Wiederstand sind, nach dieser Methode überhaupt nicht gemessen werden können.

In welcher Weise die Steighöhen des Quecksilbers und die Grösse des capillaren Widerstandes zur Beurtheilung des negativen Druckes an Gefässluft benutzt werden können, will ich nun im Folgenden auseinandersetzen. Wenn in einer Röhre von l Cent. Länge, welche Luft von x Cent. Druck enthält, und die aufrechtstehend unter Quecksilber geöffnet wird, dieses z Cent. hoch aufsteigt, so wird, nachdem dieses geschehen ist, nunmehr der Luftdruck in ihr grösser und zwar $76 - z$ sein; die ursprüngliche Spannung x in der Röhre ergibt sich aber aus der Proportion $l : l - z = 76 - z : x$ und zwar $x = \frac{(76 - z)(l - z)}{l}$, daher der negative Druck $76 - x = \frac{z\ (76 + l - z)}{l}$; da nun $76 + l - z > l$, weil $76 > z$ ist, so ist auch $76 - x > z$, das heisst der ursprüngliche negative Druck ist grösser als die Steighöhe des Quecksilbers[1]).

Da nun die Länge der Gefässe zum Theil gar nicht, zum Theil nur ungenau zu bestimmen ist, und es hier nur auf brauchbare, das heisst genügend grosse Minimalzahlen ankommt, überdies oft bedeutende Steighöhen des Quecksilbers vorkommen, so kann man diese als Minima für den negativen Druck annehmen.

Aus dem oben über den capillaren Widerstand Gesagten ist es klar, dass derselbe auch durch die Spannung der Gefässluft überwunden werden muss, man ihn daher der Steighöhe zuzählen müsse, wodurch die gesuchte Minimalzahl oft sehr bedeutend vergrössert wird.

Dazu kommt nun noch ein dritter Factor, der allerdings nicht in Zahlen darstellbar, besonders aber bei engen Gefässen sehr massgebend ist. Es ist dies der bedeutende Reibungswiderstand, den die mit zahlreichen mikroskopischen Leisten und Vorsprüngen versehene Gefässwandung dem Aufsteigen des Quecksilbers entgegensetzt. Quecksilber, das sich in sehr engen Glas-

[1]) Was übrigens auch ohne diesen Beweis begreiflich ist.

capillaren befindet, ist immer beweglich und sinkt schon durch sein eigenes Gewicht hinab, wenn die Capillare aufrecht gehalten wird; in den Gefässröhren hingegen ist es so stark festgehalten, dass selbst lange Säulen desselben ganz unbeweglich sind. Es ist klar, dass ein ganz bedeutender negativer Druck dazu gehört, um durch so bedeutende Reibung festgehaltene Quecksilbersäulen weiterzubewegen. Damit erledigt sich aber ein Punkt, der von vorne herein Bedenken erregen könnte. Im Momente nämlich, wo die Zweige unter Quecksilber entzwei geschnitten werden, und dieses aufsteigt, befinden sie sich nicht in lothrechter Lage sondern stehen meist unter einem Winkel von 30—40° gegen die Horizontale geneigt. Es ist klar, dass bei dieser Lage das Mercur höher hinaufsteigen wird, und zwar nach Massgabe der durch den Grad der Neigung bedingten Verringerung des Quecksilberdruckes; da nun aber andererseits der Reibungswiderstand oft so gross ist, dass das Quecksilber selbst bei senkrechter Lage festgehalten wird, also grösser als der Druck des Quecksilbers selbst, so kommt dieser meist gar nicht in Betracht, indem er einen geringeren Druckaufwand erfordert, wie die Reibung.

Bei der Stieleiche nun, wo die Maximalhöhe, bis zu welcher das Quecksilber im genannten Versuche stieg, 38·5 Cent. und der capillare Widerstand 13 Cent. beträgt, muss nach dem Gesagten der negative Druck mindestens 38·5 + 13 = 51·5 Cent. betragen, oder die Spannung der Gefässluft im unverletzten Gefässe höchstens 24·5 Cent.

Wo bei den oben angegebenen Steighöhen das Quecksilber weniger hoch als 38·5 Cent. stieg, waren wohl meist die Gefässe enger, möglicherweise aber auch der Druck geringer; im niedrigsten Falle betrug dieser jedoch immerhin noch mindestens 10·7 + 13 = 23·7 Cent.

Bei allen in Bezug auf die Weite der Gefässe untersuchten Holzpflanzen zeigte sich, dass dieselbe im Allgemeinen vom innersten Jahresring an zunimmt. Bei der Stieleiche z. B. zeigten sich folgende Maximalweiten für die Gefässe der aufeinanderfolgenden Jahresringe eines achtjährigen Zweiges:

1. Jahresring	37, 42 μ	5. Jahresring	80, 81 μ
2. „	69, 65 μ	6. „	96, 88 μ
3. „	76, 72, 78 μ	7. „	93, 95 μ
4. „	87, 78 μ	8. „	94, 97 μ

Wie man sieht, bleibt vom 6. Jahresringe an die Weite der Gefässe ziemlich dieselbe; nichtsdestoweniger findet man, dass das Quecksilber bei *Quercus pedunculata* nur in den Gefässen des jüngsten Jahresringes bis zu Höhen von 20—38·5 Cent. aufsteigt, in den folgenden inneren, die kaum enger sind, zu viel geringeren Höhen und in den innersten gar nicht. Daraus kann man den Schluss ziehen, dass der Luftdruck in den Gefässen des äussersten Jahresringes am kleinsten ist, und von da nach innen im Allgemeinen an Grösse zunimmt. Diese Folgerung, die ich bei Mangel näherer Versuche übrigens nur mit Vorbehalt ausspreche, scheint mir auch von vorne herein wahrscheinlich. Bedenkt man nämlich, dass die transspirirenden Blätter durch ihre Gefässe in erster Linie mit dem jüngsten Jahresringe in Verbindung stehen und dass die Wasserleitung im Holze in longitudinaler Richtung viel rascher vor sich geht als in radialer [1]), so wird es klar, dass die Entwässerung des Holzes von aussen nach innen geschieht, und dass vor allen Andern der erste Jahresring sein Wasser für die Transspiration abgeben muss, und zwar auch rascher als jene, weil bei ihm vornehmlich die ausgiebige axiale Wasserleitung in's Spiel kommt. Es muss daher auch im jüngsten Jahresringe, wo das Wasser gewissermassen am raschesten ausgepumpt wird, die grösste Saugwirkung und der grösste negative Druck zu Stande kommen. Ich glaube mich auch verschiedene Male von dem geringeren Wassergehalt der äusseren Holzschichten mehrjähriger Zweige überzeugt zu haben, behalte mir aber über den ganzen Gegenstand nähere Untersuchungen vor.

Aesculus Hippocastanum.

Die Gefässe sind sehr enge, die grössten haben im Mittel 25 — 30 μ Durchmesser; in Folge dessen ist auch der capillare

[1]) s. Wiesner: Untersuchungen über die Bewegung des Imbibitionswassers etc. (Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften, LXXII. Bd., I. Abth., 1875, Separatabdr. p. 15.

Widerstand sehr gross; er variirt von 30 — 43 Cent.; bei einem Drucke von 30 Cent. drang nie Quecksilber ein; meist betrug jener 33—34 Cent.; nichtsdestoweniger zeigte sich beim Abschneiden des Zweiges unter Quecksilber, dass dieses hauptsächlich in zahlreichen peripherischen Gefässen im Maximum 5·2 Cent. weit aufgestiegen war; es fand sich auch, dass meist Gruppen von Gefässen weit hinauf injicirt waren. Bis auf einige Millimeter weit waren fast alle Gefässe injicirt. So im proximalen Zweigstücke. Im distalen stieg das Quecksilber im ersten Jahresringe etwa 1 Cent., im zweiten jüngeren, wo die Gefässe etwas weiter sind, 4·2 Cent. weit. Da der capillare Widerstand im Mittel 33 bis 34 Cent. beträgt, ist der negative Druck mindestens 38—39 Cent. gross und mag bis auf 48 Cent. steigen.

Syringa vulgaris.

I. Versuch. Bei einem dreijährigen Zweig stieg das Quecksilber im ersten Jahresringe des proximalen Zweigstückes gar nicht, im zweiten 4 Cent., im jüngsten in den meisten Gefässen und bis 12·7 Cent. weit; im distalen zeigte sich im ersten Holzringe ebenfalls kein Quecksilber, im zweiten wenig, im dritten viel, bis 17·5 Cent. weit.

II. Versuch. Von einem Strauche wurden Blätter und verschiedene alte Zweige auf den Luftdruck in den Gefässen untersucht.

Bei Blättern, die unter Quecksilber abgeschnitten wurden, zeigte sich immer, dass dasselbe in zahlreichen Gefässen eintrat, und zwar einerseits entweder nur bis zum Blattstielgrunde (5 bis 11 Millim. weit), oder über diesen hinaus, oft durch das ganze nächste Internodium (bis 28 Millim. weit), andererseits bis über die Mitte der Blattnerven hinaus (4 Centim. weit). Bei einjährigen Zweigen stieg das Mercur im proximalen Ende bis 20 Millim., im distalen bis 27 Millim. weit, und zwar in den meisten der sehr dünnen Gefässe (18 — 25 Mikromillim.); bis 20, resp. 25 Millim. stieg dasselbe auch in einem zweijährigen empor. Bei einem dreijährigen Zweige waren die Maximalweiten (prox.) 12·5 Cent. und 9·0 Cent. (dist.), wobei das Quecksilber auch im Nebenaste eintrat. Bei einem vierjährigen 12·2 und 10·5 Cent., einem

sechsjährigen 9·5 und 8·5 Cent. weit. Letzterer Zweig kam unmittelbar aus der Erde.

Die Gefässweite ist bei *Syringa* gering (20—38 μ) und nimmt vom ersten bis zum dritten Jahresringe zu, wie folgende Zahlen zeigen, welche sich auf die weitesten Gefässe der einzelnen Holzringe beziehen. I. 18 — 25 μ, II. 34 — 36 μ, III. 37 — 38 μ, IV. 38 μ. In Folge der geringen Gefässweite ist auch der capillare Widerstand gross; er beträgt etwa 35 Cent. und daher die Saugung in den Gefässen des Flieders mindestens 36 Cent., kann aber nachweisbar auf 52·5 Cent. (und wahrscheinlich noch weiter) steigen.

Juglans regia

ist wegen der Weite der Gefässe ein günstiges Object. Ein dreijähriger Zweig zeigte folgende Maximalgefässweiten: I. 45—54 μ, II. 62—70 μ, III. ebenso; trotzdem jedoch die Gefässe, wie man sieht, nach aussen nur wenig an Weite zunehmen, findet nur selten ein Aufsteigen des Quecksilbers in einem anderen als dem jüngsten Jahresringe statt. Die Ursache davon liegt hier aber nicht in gänzlichem Mangel an negativem Druck in den älteren Ringen, sondern in der reichlichen Thyllenbildung. Presst man durch ein kurzes Zweigstück unter beliebig hohem Druck Luft, so tritt diese nur durch die Gefässe des jüngsten Jahresringes aus, alle anderen sind durch Thyllen verstopft, die man auch leicht mikroskopisch nachweisen kann. Man sieht an dickeren Querschnitten, dass die Thyllen um so reichlicher vorhanden sind, je älter der Holzring ist. Im vorjährigen Holz sind sie sehr spärlich, im heurigen fehlen sie ganz.

In das prox. Ende eines mehrjährigen Zweiges stieg das Quecksilber in fast allen Gefässen des jüngsten Jahresringes 10 bis 20 Cent. hoch, sehr viele 21 Cent. weit; ausserdem, wie auch im distalen, nur in wenigen Gefässen des vorjährigen Holzes. Im distalen Zweigstücke im Maximum 15·2 Cent. hoch; da der capillare Widerstand etwa 18 Cent. beträgt, so ist der negative Druck mehr als 33—39 Cent. gross.

Ulmus campestris.

Die Ulme zeigt ebenfalls reichliche Thyllenbildung, die auch schon im zweiten Jahre auftritt, so dass selbst bei starkem Quecksilberdruck Luft nur durch die Gefässe des jüngsten Holzringes durchgepresst werden kann. Bei einem Versuche stieg das Quecksilber in einzelnen peripherischen Gefässen des proximalen Endes 21·8 Cent. weit, zu geringeren Höhen jedoch in sehr zahlreichen Gefässen. Im distalen Ende in einem Gefässe bis 44·4 Cent. weit; sehr zahlreiche Gefässe waren bis über 20 Cent. weit mit Quecksilber erfüllt.

Der capillare Widerstand schwankt sehr stark von 12—24 Cent., je nach der Gefässweite; im Mittel aus 10 Beobachtungen = 16 Cent., daher der negative Druck nachweisbar mindestens bis 56·4 Cent. steigen kann.

Bei *Ailanthus glandulosa*. dessen Gefässe unter den untersuchten Hölzern am grössten sind (57—151 Mikromillim.), ist die Erscheinung des Quecksilberaufsteigens besonders auffällig; in einem distalen Zweigstücke, das wegen der Steifheit und Brüchigkeit der älteren Theile nur 16 Cent. lang gemacht werden konnte, stieg das Quecksilber in zahlreichen Gefässen 6·5 Cent. hoch, nämlich bis zum Grunde des heurigen Sprosses; in etwa 10 Gefässen über diesen hinaus etwa 12·7 Cent. weit. Im proximalen Ende hingegen in 2 Gefässen 48·5 Cent. weit, in allen grossen Gefässen etwa 10 Cent. weit, aber nur im diesjährigen Holze, im älteren kaum $^1/_2$ — 1 Millim. hoch, woraus man, wie bei der Eiche, auf einen grösseren Druck im jüngsten Jahresringe schliessen kann.

Bei *Robinia Pseudoacacia*, ebenfalls mit weiten Gefässen, stieg das Quecksilber in einzelnen Gefässen des proximalen

[1]) Ich kann es nicht unterlassen, anmerkungsweise die Vermuthung auszusprechen, dass es möglich ist, dass die Thyllenbildung mit der Luftverdünnung in den Gefässen zusammenhängt. In den Gefässen, welche ihr Wasser zuerst verlieren, kommt wahrscheinlich der negative Druck eher zu Stande, als in den einzelnen Holzzellen und kann daher immerhin eine im Sinne der Thyllenbildung wirkende Druckdifferenz entstehen. Dass jene aber auch von anderen Ursachen, z. B. der Dicke und Beschaffenheit der Zellwände etc. abhängt, ist selbstverständlich.

Zweigstückes bis über 50 Cent. weit, in zahlreichen bis etwa 24 Cent., aber nur im jüngsten Holze, da bei diesem Baume schon das vorjährige Holz mit Thyllen erfüllt ist. Im distalen Ende in fast allen peripherischen Gefässen 6 Cent. weit, in zahlreichen, bis fast zur Spitze des Haupttriebes, 12 Cent. und in einigen 22 Cent. weit in einen langen Seitentrieb hinein.

Bei *Caragana frutescens* bemerkte ich ein Aufsteigen bis zu 20 Cent. Höhe in vielen Gefässen. Bei *Tilia parvifolia* bis 2·5 Cent. in allen Gefässen, in einzelnen peripherischen bis 7·5 Cent. weit. Die Acerarten (*campestre*, *Pseudoplatanus*, *platanoides*) haben sehr enge Gefässe, daher grossen capillaren Widerstand, der 30—40 Cent. beträgt; dennoch steigt das Mercur ziemlich hoch. Bei *Acer campestre* 3—13 Cent. hoch; bei *platanoides* bis 7 Cent. weit in einzelnen, in zahlreichen jedoch 2·3 Cent. weit; bei *Pseudoplatanus* war im proximalen Ende bis 2 Cent. fast der ganze Querschnitt injicirt, einzelne Gefässe bis 11 Cent.; im distalen die Hälfte des Querschnittes bis 4 Cent. weit und einzelne ebenfalls 11 Cent. weit u. s. w.

Schliesslich habe ich auch an zahlreichen krautigen, selbst einjährigen Pflanzen den Versuch wiederholt und ebenfalls bedeutende negative Drucke gefunden.

Eine Pflanze von *Helianthus annuus* wurde vorsichtig aus dem Boden genommen und an einer geeigneten biegsamen Stelle unter Quecksilber abgeschnitten. Es zeigte sich, dass dasselbe am Wurzelende in einem Gefässe bis 23 Cent., in den meisten übrigen bis 6 Cent. gestiegen war. Im Endsprosse waren fast alle Gefässe 2—4 Cent. weit voll, einzelne fast bis zur Stammspitze (11 Cent.); in den zwei untersten Blättern, welche 1·5, resp. 4·2 Cent. über der Schnittfläche sassen, konnte das Quecksilber durch den ganzen, 9 Cent. langen Blattstiel verfolgt werden. Der capillare Widerstand schwankt von 12 — 20 Cent., dürfte daher der negative Druck mindestens bis auf 30 Cent. steigen können, im höchsten beobachteten Minimum aber auf 35 Cent.

Ebenso zeigte sich bei *Beta* (Blättern) und zahlreichen anderen krautigen Pflanzen, so wie einzelnen Blättern, z. B. der Rosskastanie ein Aufsteigen des Quecksilbers, bei Blättern häufig bis über die Mitte des Hauptnerven.

Durch die bisher angeführten Thatsachen ist, wie ich glaube, das allgemeine Vorhandensein eines bedeutenden negativen Druckes der Gefässluft im Sommer in unwiderleglicher Weise dargethan. Es ist sicher, dass dieser nachweisbar mindestens auf 50 — 60 Cent. Quecksilber steigen kann, wahrscheinlich, dass derselbe noch bedeutender werden könne. Ferner ist nachgewiesen, dass dieser negative Druck schon in den Gefässen der Blätter zu Stande kommt, und in krautartigen Pflanzen. Die angewendete Methode gab aber nicht nur über die Grösse, sondern auch genaueren Aufschluss über den Ort des negativen Drucks, und zwar ergab sich, dass derselbe wahrscheinlich im äussersten Holzringe am stärksten ist, und von da nach innen abnimmt, was auch durch bekannte anatomische und physiologische Thatsachen bestätigt wird.

Im Folgenden will ich nun eine von mir gefundene Thatsache besprechen, die, oberflächlich betrachtet, leicht als im Widerspruche mit den angeführten Folgerungen stehend gehalten werden kann. Es handelt sich um den Ausgleich des negativen Druckes in abgeschnittenen Zweigen.

Wenn man einen abgeschnittenen Zweig einige Minuten mit der freien Schnittfläche in der Luft liegen lässt, und dann in einiger Entfernung von jener eine zweite unter Quecksilber macht, so zeigt sich oft ein bedeutendes Aufsteigen dieses.

Ein Zweig von *Morus alba* wurde abgeschnitten und gleich darauf ein 6 Cent. langes Stück unter Quecksilber abgetrennt; dieses stieg im distalen Ende in einzelnen Gefässen bis 11 Cent. hoch, im offenen proximalen aber gar nicht.

Ein Zweig von *Tilia argentea*, der $^3/_4$ Stunden gelegen war, wurde, $7^1/_2$ Cent. vom Schnittende entfernt, unter Quecksilber abgeschnitten und zeigte ein Aufsteigen des letzteren auf beiden Seiten! Im proximalen $7^1/_2$ Cent. langen offenen Zweigstücke war der äusserste Jahresring 2 Cent. weit sehr stark injicirt und einzelne Gefässe weiter, bis 6 Cent.; im distalen Ende war der jüngste Ring etwas weniger injicirt und einzelne Gefässe bis $5^1/_2$ Cent.

Ein einjähriger Wallnusszweig wurde gleich nach dem Abnehmen 14·5 Cent. von der Schnittfläche unter Quecksilber entzwei geschnitten und zeigten sich im proximalen Stücke bis 4·5

Cent. weit etwa die Hälfte der Gefässe injicirt, einzelne bis 12 Cent., im distalen waren bis 4 Cent. mehr als die Hälfte der Gefässe und einzelne bis 12·5 Cent. weit mit Quecksilber erfüllt.

Selbst bei abgeschnittenen Spitzahornzweigen, wo die Gefässe sehr enge sind und daher der capillare Widerstand sehr gross, dringt Quecksilber ein; in einem Falle, wo gleich nach dem Abnehmen vom Baume ein 23 Cent. langes Stück unter Quecksilber davon abgeschnitten wurde, zeigte sich beiderseitig ein häufiges Aufsteigen bis $2^1/_2$ Cent., in einzelnen Gefässen 6 bis 7 Cent. weit.

Auch bei krautigen Pflanzen und einzelnen Blättern zeigt sich diese Erscheinung. Zahlreiche Versuche habe ich mit Runkelrübenblättern und *Helianthus*-Pflanzen gemacht, die ich zum Theil in meiner Arbeit: „Ueber das Welken abgeschnittener Sprosse“ [1]) mitgetheilt habe. Hier sei nur ein Beispiel erwähnt. Ein Blatt wurde am Grunde abgeschnitten und nach etwa 1 Minute unter Quecksilber ein 11 Cent. langes Stück abgenommen; es zeigte sich jenes im proximalen Stücke 1·5—6 Cent. weit aufgestiegen, in etwas geringerer Quantität als im distalen, wo es in verschiedenen Gefässbündeln 3—6 Cent. weit stieg.

Es ist nun von vorne herein klar, dass in allen diesen Fällen das Quecksilber nur in Folge einer noch vorhandenen Luftverdünnung, welche grösser als der jeweilige capillare Widerstand ist, eindringen kann.

Wenn man nun bedenkt, welch' geringe Luftquantitäten nöthig sind, um die Druckdifferenz der Gefässluft mit der Atmosphäre auszugleichen, so muss es offenbar auffallen, dass diese Ausgleichung nicht schon in ganz kurzer Zeit eintritt. Um diese Thatsache zu erklären, muss man annehmen, dass die Bewegungsgeschwindigkeit der Luft in Capillarröhren von der Beschaffenheit der Gefässe selbst bei einem Quecksilberdrucke von 30—50 Cent. eine sehr geringe ist.

Um mir überhaupt von der Geschwindigkeit der Luftbewegung in Capillaren unter verschiedenem Drucke eine Vorstellung machen zu können, habe ich, da ich in der physikalischen Lite-

[1]) Im II. Bande von Haberland's „Wissenschaftlich-praktischen Untersuchungen, p. 120.

ratur keine brauchbaren Angaben finden konnte, selbst Versuche mit Glascapillaren von verschiedener mittlerer Weite angestellt, deren Resultate mir nicht werthlos scheinen, weshalb ich sie hier auseinandersetzen will.

Es wurden etwa 4—5 Millim. weite Glasröhren an einem Ende in verschieden lange Capillaren von 50—200 Mikrom. mittlerer Innenweite ausgezogen, mit Quecksilber angefüllt und mit der Capillare nach oben senkrecht in einer mit Quecksilber gefüllten Schale aufgestellt. Es zeigte sich nun ein allmäliges Sinken des Quecksilbers; aus der Raschheit, mit welcher dies geschah, und dem Querschnittsverhältnisse von Röhre und Capillare, konnte die mittlere Bewegungsgeschwindigkeit der Luft in letzterer berechnet werden.

Versuch I. Eine etwa 50 Cent. lange Glasröhre mit einem inneren Durchmesser von 4·3 Millim. im Mittel, wurde in eine 99 Cent. lange Capillare, innen von einem mittleren Durchmesser von 201 Mikromillim., also etwa $^1/_5$ Millim. ausgezogen. Der mittlere Durchmesser letzterer wurde als Mittel von 40 in gleichen Entfernungen von je $2^1/_2$ Cent. gemachten mikroskopischen Messungen berechnet, diese Messungen ergaben ferner, dass die Maximal-Innenweite von 460—506 μ auf einer Strecke von 10 Cent. sich fand, die Maximalweite von 78 μ sich auf 5 Cent. Länge fand; dass ferner auf

17	Cent.	der	Länge	der	Diameter	unter 100 μ	betrug			
50	„	„	„	„	„	von 100—200 μ	„			
16	„	„	„	„	„	„ 200—300 μ	„		99	
2	„	„	„	„	„	„ 300—400 μ	„	und	Cent.	
14	„	„	„	„	„	„ 400—506 μ	„			

Der Querschnitt der Quecksilberröhre betrug 14·53 □Millim., der mittlere Querschnitt der Capillare aber nur 0·03235 □Millim. daraus folgt, dass sich die Luft in der Capillare 14·53 : 0·03235 = 449mal schneller bewegte als das Quecksilber in der weiten Röhre sank.

Die Geschwindigkeiten der Luftbewegung mit 3 verschiedenen Druckhöhen, ergeben sich aus folgender Tabelle.

Das Quecksilber sank um Ctm.	In der Zeit von	Bei einem Drucke von Ctm. Quecks.	Würde daher das Quecksilber bei diesen Drucken in einer Stunde gesunken sein Ctm.	Bewegt sich daher die Luft in der Capill. mit einer Geschwindigkeit von Ctm. pro Stunde
16·8	8′	26—42·8	126	126 × 449 = 56574
15·3	21′ 42″	10·7—26	42·3	42·3 × 449 = 19000
10·2	1h 39′	0·5—10·7	6·2	6·2 × 449 = 2800

Versuch II. Wurde wie auch der dritte in derselben Weise unternommen.

Durchmesser der Quecksilberröhre = 4·1 Millim., Länge der Capillare 39 Cent., mittlerer Innendurchmesser 67·2 μ als Mittel von 35 Messungen; weiteste Stelle = 195 μ, engste = 14 μ.

15·3 Cent. d. Röhrchenlänge hatten eine Innenweite v. 14—50 μ
17·5 „ „ „ „ „ „ „ 50—100 μ
4·2 „ „ „ „ „ „ „ 100—150 μ
2 „ „ „ „ „ „ „ 150—195 μ

Der mittlere Querschnitt der Capillare beträgt 0·003547 □Millim.; der der Quecksilberröhre 13·2026; daher die Geschwindigkeit der Luftbewegung in der Capillare 13·2026 : 0·003541 = 3722mal grösser ist als die, mit welcher das Quecksilber in der Röhre sinkt.

Das Quecksilber sank um Cent.	In der Zeit von	Bei einem Drucke von Ctm. Quecks.	Würde daher dasselbe bei diesem Drucke in einer Stunde gesunken sein um Ctm.	Bewegt sich daher die Luft in der Capillare mit einer Geschwindigkeit von Ctm. pro Stunde
10·7	1h 42m	49·3—60	6·29	23400
8	2h 33m	41·3—49·3	3·13	11650
20·1	12h 28m	21·2—41·3	1·61	6000
1·25	1h 19m	19·95—21·2	0·94	3500
4·65	5h 33m	15·3—19·95	0·83	3090
2·4	4h 53m	12·9—15·3	0·49	1820
4·1	12h 29m	8·8—12·9	0·33	1230
8·3	57h	0 5—8·8	0·145	540

Versuch III. Länge der Capillare 21 Cent.; mittlerer Innendurchmesser 50·6 μ aus 28 Messungen; Minimaldurchmesser 1·5 μ, Maximaldiameter 111 μ; Lumenweite der Quecksilberröhre 4·5 Millim.; Querschnitt derselben 15·9044 □Millim.; mittlerer Quer-

schnitt der Capillare 0·002011 □Millim., die Luftbewegung in der Capillare ist daher 15·9044 : 0·002011 = 7908mal grösser als in der Quecksilberröhre. Die Dicke der Capillare war sehr verschieden, und zwar waren

37	Millim.	ihrer	Länge	1·5— 5 μ	dick,
15	„	„	„	5— 10 μ	„
7	„	„	„	10— 20 μ	„
23	„	„	„	20— 40 μ	„
30	„	„	„	40— 60 μ	„
60	„	„	„	60— 80 μ	„
22	„	„	„	80—100 μ	„
16	„	„	„	100—111 μ	„

Da nun das Quecksilber bei einer Höhe von 59·3—60·3 Cent. in der Zeit von 160·3 Stunden um 10 Millim. sank, so legte die Luft in der Capillare in derselben Zeit einen Weg von 7908 Cent. zurück, oder in einer Stunde 493 Cent.

Die Resultate dieser drei Versuche sind zwar wegen der verschiedenen Länge der angewendeten Glascapillaren, sowie deren unregelmässigen Lumina nur wenig geeignet mit einander verglichen zu werden, doch lassen sich immerhin einige brauchbare Schlüsse ziehen.

1. Vor Allem zeigt sich aus jedem einzelnen der beiden ersten Versuche, dass die Geschwindigkeit der Luftbewegung nicht in demselben Verhältnisse zunimmt, wie der Druck, sondern in einem viel rascheren. So z. B. beträgt jene bei einem mittleren Drucke von 20·57 Cent. (Versuch II) 3500 Cent. pro Stunde, bei dem halben Druck von 10·85 Cent. nur 12·30 Cent. wenig mehr als den 3. Theil; andererseits bei dem wenig mehr als doppelt so hohen Druck 45·3 Cent. 11650 mehr als dreimal so viel u. s. w.

2. Bemerkt man beim Vergleiche der drei Versuche, dass die Bewegungsgeschwindigkeit der Luft in erster Linie von der Weite der Capillare, und erst in zweiter Linie von der Länge derselben abhängt. Das Haarröhrchen in Versuch I ist dreimal so dick als das in Versuch II; trotzdem ersteres nun $2^1/_2$mal so lang ist, ist die Bewegungsgeschwindigkeit bei einem Mitteldrucke von 18·35 Cent. 19000, d. h. mehr als sechsmal so gross, als

beim Röhrchen aus Versuch II, wo sie bei dem Drucke von 16·62 Cent. nur 3090 Cent. beträgt.

3. Daraus folgt aber unmittelbar, dass es beim Vergleiche der drei Versuche hauptsächlich auf die Weite der engsten Stellen ankommt.

Der Versuch I wurde mit einer Capillare von solcher Weite im engsten, wirksamen Theile ausgeführt, wie sie bei den grösseren Gefässen von *Quercus*, *Juglans*, *Ailanthus* etc. vorkommt, und es ist wahrscheinlich, dass gemäss den erhaltenen grossen Geschwindigkeitszahlen der Druckausgleich in Gefässen ähnlicher Weite so rasch vor sich gehen wird, dass die oben besprochenen Erscheinungen gar nicht zu Stande kommen. In der That habe ich dies mehrfach nebenbei bestätigt gefunden, bei zahlreichen Versuchen, die ich unter andern auch mit den genannten Bäumen unternommen habe, um die Verzögerung zu constatiren, welche dieser Druckausgleich durch die Transspiration erleidet. Immer zeigten sich die grössten Gefässe, ganz kurze Zeit nachdem sie verletzt wurden, bezüglich ihres negativen Druckes ausgeglichen, während dies bei den engen nicht der Fall war.

Die Capillare aus Versuch II. ist bezüglich ihrer Weite sehr gut einem Gefässe von mittlerer Grösse an die Seite zu stellen, und daher ganz gut einem solchen zu vergleichen. Bei einem Drucke von 31·25 Cent. würde nun die Luftgeschwindigkeit 6000 Cent. per Stunde, oder 1 Meter pro Minute betragen, eine Geschwindigkeit, die im Vergleiche mit den Versuchen mit Zweigen bei Weitem zu gross ist. Man muss daher annehmen, dass die Luft in den Gefässen viel grössere Widerstände zu überwinden hat, als in Glascapillaren; die Ursachen wird man offenbar in der Beschaffenheit der Gefässwände zu suchen haben und zwar lassen sich folgende Momente geltend machen, welche verzögernd auf die Bewegung der Luft wirken können.

1. Die Reibung der Luft an den mit zahlreichen Rauhigkeiten versehenen Gefässwänden, die mindestens in demselben Verhältniss grösser ist, als die des Quecksilbers.

2. Ist die Luft in den Gefässen fast vollkommen mit Wasserdampf gesättigt, und müssen die bei Temperaturschwankungen

vorkommenden Verdunstungs- und Niederschlagsvorgänge die Bewegung der Luft verzögern, was allerdings nur bei sehr engen Gefässen der Fall sein kann, wo der Ausgleich langsamer vor sich geht und daher längere Zeit braucht.

3. Sind die Gefässwände feucht, und muss die sie innen auskleidende dünne Wasserschicht ebenfalls die Reibung der Luft vergrössern.

4. Sind die feuchten Gefässwände für Gase durchdringbar und können daher Diffusionsvorgänge stattfinden, die ebenfalls die Geschwindigkeit der Luftbewegung beeinträchtigen müssen.

Behält man diese Punkte im Auge, die den Ursachencomplex wahrscheinlich nicht erschöpfen, so kann man sich immerhin vorstellen, wie die bei einer Saugung von 31·25 Cent., die im Sommer wohl fast in jeder Pflanze stattfinden wird, erzeugte Bewegungsgeschwindigkeit der Luft in Glascapillaren von 1 Meter pro Minute, in den Gefässen soweit herabgemindert wird, dass die oben erwähnten langsamen Druckausgleiche erklärlich erscheinen.

Die Capillare des Versuchs III, welche zwar bei einer Saugung von 59·8 Cent. (im Mittel) die geringe Geschwindigkeit von 493 Cent. pro Stunde oder 8·2 Cent. pro Minute ergab, eine Geschwindigkeit, die den geltend gemachten Ursachen entsprechend kleiner gedacht, den an sie gestellten Ansprüchen vollkommen entsprechen würde, ist trotz der mittleren Weite von 50 μ wegen der geringen Dicke der engsten Stellen (1·5—5 μ auf 3·7 Cent. Länge), auf welche es ja nach Punkt 3 pag. 25 hauptsächlich ankommt, nicht geeignet, mit einem Gefässe von einer Weite von 50 μ verglichen zu werden. Jedenfalls macht uns aber dieser Versuch wahrscheinlich, dass in Gefässen von 10—20 μ Weite, wie sie häufig vorkommen, bei einer Saugung von 30—40 Cent. die Bewegung der Luft kaum mit einer grösseren Geschwindigkeit als von 2—300 Cent. pro Stunde vor sich gehen könne.

Obwohl nun durch das Gesagte die Langsamkeit mit welcher der Ausgleich der Druckunterschiede, der in den Gefässen geschieht, im Allgemeinen verständlich wird, kommen doch Fälle vor, in denen es nicht die geringe Geschwindigkeit der

Luftbewegung sein kann, die den Ausgleich verspätet, sondern wo zufällige Verstopfungen einzelner Gefässe ins Spiel treten, die entweder in ausgeschiedenen gummösen Massen, stehen gebliebenen Querwänden oder einzelnen Thyllen bestehen können.

Wenn z. B. bei einem abgeschnittenen Eichenzweige, der durch 5 Stunden an der Luft lag, und der 15 Cent. von der Schnittfläche entfernt unter Quecksilber entzweigeschnitten wurde, dieses im distalen Ende in einem Gefässe 10 Cent. weit stieg, was einem negativen von mindestens 23 Cent. entspricht, so kann die Ursache davon nur in einer Verstopfung dieses Gefässes gesucht werden.

Noch auffälliger war dies in einem Falle beim Feldahorne, bei dem unter denselben Umständen Quecksilber sogar gegen die alte Schnittfläche hin eindrang und zwar in ziemlich vielen Gefässen wenig, in einem aber 6.2 Cent. weit. Einzelne Gefässe abgeschnittener Zweige füllen sich überhaupt häufig, zum Theil sehr weit, mit Quecksilber. Man kann dies immer nur durch Annahme einer in der Nähe der älteren Schnittfläche vorkommenden Verstopfung erklären.

Obwohl es sichergestellt ist, dass der negative Druck in den Gefässen in erster Linie durch die Transspiration erzeugt wird, und dies durch zahlreiche Versuche mit abgeschnittenen Zweigen bewiesen ist, so dürfte es doch interessant sein, diese Thatsache mit Zuhilfenahme einer neuen Methode bestätigt zu sehen. Es beruht der nun zu schildernde neue Beweis auf der langsamen Druckausgleichung in den Gefässen. Es wurden je zwei grössere Zweige von *Quercus*, *Juglans*, *Acer*, *Tilia*, *Aesculus* und *Syringa* abgeschnitten und von jeder Art, mit Ausschluss der Schnittfläche, unter Wasser getaucht, während der andere während derselben Zeit, z. B. einer Stunde, an der Luft liegen blieb. Es ist klar, dass wenn in der That der negative Druck durch die Transspiration erzeugt wird, der Druckausgleich in den an der Luft forttransspirirenden Zweigen, gegenüber den untergetauchten verzögert sein muss. Würden beide Zweige der gleichen Art nach einer bestimmten Zeit in einer gewissen Entfernung vom

Schnittende untersucht, so müsste sich dieser Unterschied in der Menge des aufgesogenen Quecksilbers und der Höhe zeigen, bis zu welcher dasselbe reichte.

In weitaus den meisten Fällen traf dies auch wirklich ein, und in vielen war der Unterschied sehr auffallend.

In nachstehender Tabelle folgen die Resultate eines Theiles der gemachten Versuche.

Name der Pflanze	Der transspirirende Zweig		Der unter Wasser getauchte Zweig	
	das proxim. Stück 30 Cent. lang	das distale Stück	das proxim. Stück 30 Cent. lang	das distale Stück
Juglans regia	Einzelne Gefässe bis 19 Cent. weit, zahlr. bis 6 Cent.	Einzelne Gefässe bis in Nebenäste 15, 16 Cent. weit, ziemlich viele 3 bis 4 Cent. weit.	Gar kein Quecksilber stieg auf.	Einzelne Gefässe bis 8 Cent. und eine kl. Gruppe 3 bis 4 Cent. weit.
Syringa vulg.	Eine Anzahl von Gefässen 3 Cent. weit injicirt.		Kein Quecksilber stieg auf.	
Aesculus Hippoc.	Die Hälfte des äusseren Jahresringes voll bis 1·5 Cent. weit, einzelne 5 Cent. weit.	1½ Cent. weit fast der ganze äussere Jahresring voll; einzelne 6·5 Cent. weit.	⅙ des Querschnittes bis ½ C. weit voll, einzelne bis 3 Cent. weit.	¼ des Querschnittes des äussersten Jahresringes ½ Cent. weit voll, einzelne bis 3·7 Cent. weit.
Quercus pedunculata	3 Gefässgruppen bis 15 Cent. weit voll, einzelne 28 bis 29 Cent. weit.	Einzelne Gruppen 5 Cent. weit, 2 Bündel 7 Cent. weit.	2 Gefässe, davon eines 4·5 Cent. weit.	1 Gefäss 2 Cent. weit.
	Einige Bündel 5 Cent. weit, 1 Gefäss 29 Cent. weit, 1 and. 27 Cent. weit, andere weniger weit.	2 grosse Bündel, 10·5 u. 11.5 Cent. weit.	Nur 1 Gefäss 9 Cent. weit.	Nur 3 Gefässe 7·2, 7·1 und 2 Cent. weit.
	In 5 Gefässen stieg das Quecksilber 13—25 Cent. weit.	In 12 Gefässen bis zu 30 Cent. weit.	Kein Quecksilber stieg auf.	Kein Quecksilber stieg auf.

Name der Pflanze	Der transspirirende Zweig		Der unter Wasser getauchte Zweig	
	das proxim. Stück 30 Cent. lang	das distale Stück	das proxim. Stück 30 Cent. lang	das distale Stück
Juglans regia	Bis 5 Cent. fast alle Gefässe, bis 12 Cent. sehr viele, einzelne 15, 20 bis 27 Cent. weit.	Bis 4 Cent. alle voll, einzelne bis 14 Cent., auch in die Nebenäste.	10—15 Gefässe 6·5—11·5 C. weit.	10—12 Gef. sind 4—5·5 Cent. weit injicirt.
Acer platanoides	Die Hälfte des Querschnittes bis 1·5 C. voll, einzelne Gefässe bis 5 Cent.	Mehr als die Hälfte des Querschnittes bis 1·5 Cent. weit voll, einzelne Gefässe bis 6 Cent. voll.	$^1/_4$ des Querschnittes 1·5 Cent.	$^1/_4$ des Querschnittes 1·5 Cent. weit, einzelne Gefässe 6·5 Cent.

Wie man aus diesen Angaben ersieht, findet man selbst in Zweigen, die über eine Stunde mit der freien Schnittfläche mit der Luft in Berührung waren, einzelne Gefässe, welche einen bedeutenden negativen Druck aufweisen. Offenbar kann man dies, wie bereits oben auseinandergesetzt wurde, nur durch die Annahme einer zwischen den beiden Schnittflächen liegenden Verstopfung erklären. Wenn man diese Thatsache im Auge behält und bedenkt, dass solche verstopfte Gefässe auch in den von der Transspiration ausgeschlossenen Zweigen vorkommend, das Vergleichsresultat trüben müssen, so kann man sich mit den angeführten Ergebnissen des Versuchs vollkommen zufrieden stellen

Durch J. Sachs [1]) ist sichergestellt, dass wenigstens krautige Pflanzen mehr transspiriren, als durch den Wurzeldruck emporgeschafft wird. Die betreffenden Versuche wurden von ihm in der Weise gemacht, dass von kräftigen Pflanzen, die in Töpfen gewachsen waren, der Stengel einige Cent. weit über dem Boden abgeschnitten wurde, und am Stumpfe ein Manometer mit einem constanten Drucke gleich Null aufgesetzt wurde, während zu gleicher Zeit der abgeschnittene Spross transspiriren gelassen

[1]) Hugo de Vries: „Ueber das Welken abgeschnittener Sprosse", p. 188. (Aus den Arbeiten des bot. Institutes in Würzburg, I. Bd.)

wurde. Auf diese Weise musste sich erstens ergeben, wie viel Wasser (unter einem Drucke von 0) von den Wurzeln emporgeschafft wird, und zweitens wie viel zu gleicher Zeit der Gipfelspross Wasser verbraucht. Bei einem Sachs'schen Versuche mit *Thytonia tagetiflora* ergaben sich folgende Resultate:

In den ersten 40 Minuten sog der Gipfelspross 2·7 CC. und zugleich sog der Stumpf 1·1 CC. Wasser ein. In den darauffolgenden 15 Stunden 20 Minuten sog der Gipfelspross 40·0 CC. und der Stumpf sog 1·3 CC. Wasser.

Man sieht, dass in den ersten 16 Stunden der Wurzelstumpf nicht nur kein Wasser heraustrieb, sondern 2·4 CC. einsog und zu gleicher Zeit auch der Gipfelspross 42·7 CC. verbrauchte. Erst nach 16 Stunden wurde Wasser aus dem Stumpf herausgetrieben, machte sich also der Wurzeldruck geltend. Am folgenden Tage zeigte sich, dass der Wurzelstumpf per 24 Stunden 2 — 4 CC. Wasser ausgeschieden hatte, während der (indess etwas welk gewordene, aber durch Quecksilberdruck wieder turgescent gemachte) Gipfelspross das Zehnfache dieser Quantität verbrauchte!

Vier andere von Sachs gemachte Versuche bestätigen dieses Resultat; so schied z. B. ein Wurzelstumpf einer Sonnenblume bei 20° C. 0·5 CC. Wasser aus, während der dazu gehörige Gipfelspross bei 15° C. 1·2 CC. aufsog etc. [1]).

Es ist nun klar, dass wenn in einer Pflanze mehr Wasser durch die Blätter ausgeschieden als emporgeschafft wird, sie zu Grunde gehen muss. Dies ist aber unter gewöhnlichen Umständen nicht der Fall. Krautige Pflanzen kommen höchstens bei Tage (namentlich kurz nach Mittag) bei anhaltend starker Hitze zum Welken, erholen sich aber wieder über Nacht. Es wird daher jedenfalls bei der lebenden, unverletzten Pflanze durch den Stamm mehr Wasser hinaufgeschafft, als durch den Stammstumpf herausgepresst wird. Wenn man sich dies vor Augen hält und sich dabei des eben nachgewiesenen grossen negativen Druckes in den Gefässen erinnert, in welchen auch der Auftrieb des Wassers durch den Wurzeldruck geschieht, so wird man zur Frage gedrängt, ob dieser negative Druck keinen Einfluss auf die Hebung

[1]) Andere diesbezügliche Angaben s. Sachs, Botanik, III. Aufl. p. 598.

des durch den Wurzeldruck in die Pflanze geschaffenen Wassers habe?

Stimmt man der Sachs'schen Vorstellungsweise über das Zustandekommen des Wurzeldruckes bei — und bis jetzt existirt keine bessere — so ist es klar, dass der negative Druck in der Pflanze im Sinne der Filtration des Wassers durch die Innenwände der ausscheidenden Wurzelzellen wirkt und daher die Wasserausscheidung beschleunigt, was der Wirkung nach einer Vergrösserung der Wurzelkraft entspricht. Je grösser der negative Druck (oder der äussere Ueberdruck) und daher auch die Transspiration ist, desto ausgiebiger wird auch diese Wirkung auf die Wurzelkraft sein, welche Wirkung offenbar für das Gedeihen der Pflanze günstig ist. Existirt diese Wirkung der Transspiration, so wird die Höhe der durch die Wurzelkraft emporgetriebenen Flüssigkeitssäulen nicht in demselben Verhältnisse abnehmen, in welchem die Transspiration wächst, sondern in einem geringeren; es wird das Wasserreservoir der Pflanze nicht so schnell erschöpft, als es der Fall wäre, wenn es in der Pflanze nicht zu einem negativen Druck käme.

So lange die Gefässe noch weit hinauf mit Wasser erfüllt sind, wird der negative Druck, selbst wenn derselbe sehr hoch sein sollte, wahrscheinlich keine bedeutende Wirkung auf die Wasserausscheidung in der Wurzel haben, wegen der grossen Reibung, welche die langen Flüssigkeitssäulen in den Gefässen an den Wänden dieser erleiden. Sobald sich aber in Folge fortdauernder starker Transspiration diese Flüssigkeitssäulen bis in die unteren Stammtheile oder in die Wurzel zurückgezogen, also bedeutend verkürzt haben, wird der Einfluss des erzeugten negativen Druckes möglicherweise ein sehr grosser sein. Der negative Druck, der gerade in letzterem Falle sehr gross sein wird, muss sich dann offenbar in den Gefässen bis in die Wurzel fortpflanzen, deren wasserausscheidende Gewebe dann unter einem bedeutenden äusseren Ueberdrucke (bis zu 50 — 60 Cent.) stehen, der auf die Wasserausscheidung günstig wirken muss.

Dieser mit Vorbehalt einschlägiger Versuche ausgesprochene Gedankengang wird durch einen kleinen, von Sachs[1]) mit-

[1]) Botanik, III. Aufl., p. 596.

getheilten Versuch unterstützt, der es zweifellos macht, dass die durch Stammstumpfe ausgeschiedene Wassermenge durch Druck von oben beeinflusst wird. Von zwei gleichen Sonnenrosenpflanzen, von welchen der Stamm-Querschnitt der einen unter einem Drucke gleich Null und der andern von 17 Cent. Quecksilber stand, schied erstere in den ersten 33 Stunden 26·45 CCm., letztere aber nur 20·9 CCm. aus. Der Unterschied ist allerdings nicht gar gross, aber auch die Druckdifferenz von 17 Cent. ist im Verhältniss zu dem vorkommenden negativen Drucke klein.

Ich halte, wie aus dem Gesagten erhellt, den in der Pflanze entstehenden negativen Druck für einen Regulator der Wasserzufuhr der Pflanze, der allerdings nicht ausgiebig genug wirkt, um die gänzliche Entleerung der Gefässe zu verhindern, immerhin aber für die Pflanze von Bedeutung ist.

Bemerkung.

Die Versuche über die Luftströmungsgeschwindigkeit in Capillaren hatte ich nur zu meiner eigenen, vorläufigen Orientirung unternommen, nachdem ich in Wüllners Physik (II. Auflage) keine Angaben darüber fand. Durch Umstände zur raschen Publication der ganzen Arbeit gezwungen, musste ich sie jedoch des Zusammenhanges wegen auch aufnehmen. Bei Gelegenheit der Einreichung der Abhandlung als Dissertation wurde ich darauf aufmerksam gemacht, dass schon Graham u. A. ausgedehnte Versuche über die Ausflussgeschwindigkeit der Gase aus Capillaren gemacht haben, die mit den theoretisch abgeleiteten Sätzen übereinstimmen. Aus letzteren geht hervor, dass die Bewegungsgeschwindigkeit in Capillaren von der Gefässweite jedenfalls eine sehr geringe ist.

Franz von Höhnel.

Selbstverlag des Verfassers.